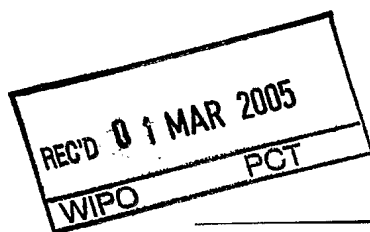


22 NOV. 2004



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 16 SEP. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

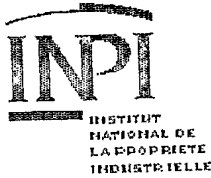
DOCUMENT DE  
PRIORITÉ  
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA RÈGLE  
17.1. a) OU b)

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr





# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITE

26bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 Paris Cédex 08  
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Jean LEHU BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS France
Vos références pour ce dossier: B 14449 PM DD 2609	

<b>1 NATURE DE LA DEMANDE</b>				
Demande de brevet				
<b>2 TITRE DE L'INVENTION</b>				
		DISPOSITIF D'ACTIONNEMENT ELECTROSTATIQUE		
<b>3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE</b>		Pays ou organisation	Date N°	
<b>4-1 DEMANDEUR</b>				
Nom	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE			
Rue	31-33, rue de la Fédération			
Code postal et ville	75752 PARIS 15ème			
Pays	France			
Nationalité	France			
Forme juridique	Etablissement Public de Caractère Scientifique, technique et Ind			
<b>5A MANDATAIRE</b>				
Nom	LEHU			
Prénom	Jean			
Qualité	Liste spéciale: 422-5 S/002, Pouvoir général: 7068			
Cabinet ou Société	BREVATOME			
Rue	3, rue du Docteur Lancereaux			
Code postal et ville	75008 PARIS			
N° de téléphone	01 53 83 94 00			
N° de télécopie	01 45 63 83 33			
Courrier électronique	brevets.patents@brevallex.com			
<b>6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS</b>		Fichier électronique	Pages	Détails
Texte du brevet		textebrevet.pdf	31	D 25, R 5, AB 1
Dessins		dessins.pdf	10	page 10, figures 26, Abrégé: page 1, Fig.1
Désignation d'inventeurs				
Pouvoir général				

<b>7 MODE DE PAIEMENT</b>				
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant		
Numéro du compte client		024		
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>				
Etablissement immédiat				
<b>9 REDEVANCES JOINTES</b>				
	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	15.00	14.00	210.00
Total à acquitter	EURO			530.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**Signé par**

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

**Fonction**

Mandataire agréé (Mandataire 1)



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

### Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : ☒Demande de CU : ☐

<b>DATE DE RECEPTION</b>	26 décembre 2003	
<b>TYPE DE DEPOT</b>	INPI (PARIS) - Dépôt électronique	Dépôt en ligne: <input checked="" type="checkbox"/> Dépôt sur support CD: <input type="checkbox"/>
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI</b>	0351210	
<b>Vos références pour ce dossier</b>	B 14449 PM DD 2609	

#### DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

#### TITRE DE L'INVENTION

DISPOSITIF D'ACTIONNEMENT ELECTROSTATIQUE
---

#### DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	application-body.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	fee-sheet.xml
FR-office-specific-info.xml	Comment.PDF	textebrevet.pdf
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	request.xml

#### EFFECTUE PAR

Effectué par:	J.Lehu
Date et heure de réception électronique:	26 décembre 2003 15:46:55
Empreinte officielle du dépôt	92:44:7F:B1:C4:28:80:80:B0:F4:9B:54:6F:AA:D4:A6:A7:28:26:C0

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL  
INSTITUT 26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08  
LA PROPRIÉTÉ Téléphone : 01 53 04 53 04  
INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

**DISPOSITIF D'ACTIONNEMENT ELECTROSTATIQUE****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5 L'invention concerne un dispositif d'actionnement électrostatique à performance mécanique améliorée.

On appelle actionnement de type "zipping", ou « à fermeture progressive ou à fermeture éclair ou  
10 par glissière», un actionnement électrostatique particulier, pour lequel une électrode mobile vient accoster ou est plaquée le long d'un isolant la séparant d'une électrode fixe, ce mouvement se faisant progressivement et presque linéairement avec la tension  
15 appliquée.

Les documents 1 et 2, référencés à la fin de la présente description décrivent un "zipping" simple avec mécanisme de rappel, tandis que les documents 3 et 4 décrivent un « zipping » double.

20 Dans les dispositifs connus, la force électrostatique est une force qui n'agit que dans une direction, en attraction entre deux électrodes. Le zipping génère des forces plus importantes mais conserve cette particularité.

25 Ce type d'actionnement est réalisable dans un plan, dans la mesure où il y a la place pour mettre des électrodes fixes de chaque côté de l'électrode mobile. Cependant, il est parfois souhaitable de n'avoir des électrodes que d'un côté de la partie  
30 mobile, par exemple pour des raisons d'encombrement.

Par contre, pour un déplacement de l'électrode mobile hors du plan, autant il est simple d'intégrer la première électrode fixe dans un substrat (par exemple en utilisant le substrat lui-même comme  
5 électrode fixe), autant il est compliqué de venir réaliser une deuxième électrode fixe au-dessus de l'électrode mobile. Cette deuxième électrode est source de complexité technologique, elle génère notamment des pertes optiques ou électriques.

10 En général, on n'utilise donc que des électrodes fixées sur le substrat, et on utilise une force opposée de nature différente, souvent purement mécanique (force de rappel), comme dans les documents 1 ou 2, en utilisant des bras de rappel supplémentaires,  
15 ou bien grâce à la force de rappel des bras de zipping eux-mêmes.

Les deux forces étant alors de natures différentes, les paramètres à maîtriser sont nombreux. Les forces sont plus difficiles à équilibrer car pas  
20 nécessairement égales, et elles ne dépendent pas des mêmes équations. Une simulation est elle aussi plus difficile à mettre en œuvre du fait du nombre de paramètres et des phénomènes physiques à prendre en compte. En outre, la technologie est plus difficile à  
25 réaliser car les deux forces nécessitent des matériaux différents, ou des géométries différentes. Par exemple, les bras de rappel sont souvent plus fins ou d'épaisseurs différentes que dans les structures de zipping, et le contrôle des actionneurs est aussi plus  
30 difficile.

Il a donc souvent été imaginé un actionnement électrostatique dans une seule direction, avec des bras de rappel pour l'autre direction.

Une seule solution réalise un déplacement dans les deux directions opposées par zipping, elle est décrite dans le document 4. Le déplacement d'un fluide incompressible entre deux cavités permet de défléchir une membrane. Cette solution est coûteuse et le déplacement est difficile à contrôler.

IL se pose donc le problème de trouver un nouveau type d'actionneur électrostatique, permettant l'utilisation du "zipping" dans deux directions opposées.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention porte sur un actionnement de type zipping, dans deux directions opposées.

L'invention concerne un dispositif d'actionnement électrostatique, comportant :

- une électrode, dite électrode mobile, comportant au moins une partie mobile par rapport à un substrat,

- au moins deux électrodes, fixes par rapport au substrat, situées d'un même côté par rapport à l'électrode mobile et chacune en face d'une partie ou d'une extrémité de l'électrode mobile,

- des moyens formant au moins un pivot d'au moins une portion de l'électrode mobile.

On peut ainsi contrôler deux parties d'un actionneur, de part et d'autre du pivot, avec deux forces de même nature, de type « zipping », et plaquer



chacune de ces deux parties, ou une portion de chacune de ces deux parties, contre le substrat ou contre une couche fixe par rapport au substrat, de manière progressive en fonction de la tension.

5 L'électrode mobile peut être mobile suivant une direction sensiblement perpendiculaire au substrat ou à un plan principal de ce substrat.

Une couche isolante, située sur le substrat ou sur la membrane mobile, permet de séparer les électrodes fixes et l'électrode mobile.

10 La partie mobile de l'électrode mobile peut être reliée par un plot à une membrane, située au-dessus de l'actionneur ou de l'autre côté de l'actionneur par rapport au substrat.

15 Quant au pivot, il permet de maintenir au moins un point de l'électrode mobile à distance du substrat, distance par exemple comprise entre 50 nm et 20  $\mu$ m. Il comporte par exemple au moins un plot, fixe par rapport au substrat, ou, selon un autre exemple, au moins un bras disposé d'un côté de la partie mobile de l'électrode mobile. Avantageusement, il comporte deux bras disposés de part et d'autre, le système étant alors symétrique.

25 Une charge peut être disposée sur la membrane mobile ou souple, en décalage latéral par rapport aux moyens formant pivot. Cette charge peut ainsi avoir une amplitude supérieure à la hauteur des moyens formant pivot. Un point de la membrane disposé en décalage latéral par rapport aux moyens formant pivot a une amplitude supérieure à la hauteur de ces  
30 moyens. Par exemple, les moyens formant pivot sont

chacune de ces deux parties, ou une portion de chacune de ces deux parties, contre le substrat ou contre une couche fixe par rapport au substrat, de manière progressive en fonction de la tension.

5 L'électrode mobile peut comporter au moins une partie mobile suivant au moins une direction perpendiculaire au substrat.

10 Une couche isolante, située sur le substrat et/ou sur la membrane mobile, permet de séparer les électrodes fixes et l'électrode mobile.

La partie mobile de l'électrode mobile peut être reliée par un plot à une membrane, située au-dessus de l'actionneur ou de l'autre côté de l'actionneur par rapport au substrat.

15 Quant au pivot, il permet de maintenir au moins un point de l'électrode mobile à distance du substrat, distance par exemple comprise entre 50 nm et 20  $\mu$ m. Il comporte par exemple au moins un plot, fixe par rapport au substrat, ou, selon un autre exemple, au moins un bras disposé d'un côté de la partie mobile de l'électrode mobile. Avantageusement, il comporte deux bras disposés de part et d'autre, le système étant alors symétrique.

25 Une charge peut être disposée sur la membrane mobile ou souple, en décalage latéral par rapport aux moyens formant pivot. Cette charge peut ainsi avoir une amplitude supérieure à la hauteur des moyens formant pivot. Un point de la membrane disposé en décalage latéral par rapport aux moyens formant pivot a une amplitude supérieure à la hauteur de ces  
30 moyens. Par exemple, les moyens formant pivot sont

disposés de manière dissymétrique entre deux électrodes fixes, ou non centrée par rapport entre ces électrodes fixes, et un point de la partie centrale de l'électrode souple a une amplitude supérieure à celle des moyens  
5 formant pivot.

La partie mobile de l'électrode mobile peut former un coude, ce qui autorise un débattement important.

Un mouvement non linéaire d'une charge  
10 située sur la partie mobile peut être compensé par une structure comportant quatre électrodes fixes, disposées deux à deux l'une en face de l'autre, l'électrode mobile comportant deux parties mobiles disposées en croix.

15 Les extrémités de l'électrode mobile peuvent être libres, ou comporter au moins une partie fixe ou encastrée ou fixée sur, ou dans, le substrat ou une couche isolante. Selon un exemple, des moyens magnétiques, fixes par rapport au substrat, coopèrent  
20 avec des moyens magnétiques de l'électrode mobile pour assurer une position fixe des extrémités de l'électrode par rapport au substrat.

Selon un mode de réalisation, l'électrode mobile comporte au moins deux parties mobiles, par  
25 exemple parallèles entre elles, chacune étant libre à une de ses extrémités, une électrode fixe étant en face de chaque partie mobile. L'extrémité libre de chaque partie mobile présente une grande souplesse, supérieure à celle d'un point situé entre les extrémités de  
30 l'électrode mobile si ces extrémités étaient fixes. Ces

extrémités libres permettent de venir en contact au-dessus de l'électrode fixe grâce à de faibles tensions.

Par exemple, l'électrode mobile comporte trois parties mobiles, les électrodes fixes étant au nombre de trois, chacune située en face d'une partie de l'électrode mobile.

Les parties mobiles de l'électrode mobile peuvent être de forme sensiblement allongée selon une direction, au moins deux électrodes fixes étant décalées l'une par rapport à l'autre dans cette direction. Selon des variantes, les parties mobiles peuvent être positionnées avec un angle aigu, ou avec des décalages latéraux, ce qui confère une stabilité mécanique dans le plan du substrat.

En vue de réaliser un contacteur, un élément de contact électrique peut être fixé sur la partie mobile. Il permet d'établir un contact entre deux pistes ou zones conductrices dans une position donnée de l'électrode mobile. Une capacité variable peut aussi être formée, par une armature fixe, et une armature mobile, dont la distance par rapport à l'armature mobile est définie par les tensions appliquées à l'actionneur.

Selon une variante, l'électrode mobile, les électrodes fixes et le pivot sont réalisés sensiblement dans un plan en surface du substrat.

Par ailleurs, l'électrode mobile peut comporter des éléments ou des moyens magnétiques, ou étant elle-même partiellement magnétique, et coopérant avec des éléments ou des moyens magnétiques fixes par rapport au substrat. Cet ensemble d'éléments

magnétiques confère une stabilité au système. Au moins deux positions stables peuvent ainsi être réalisées.

De préférence, la force électrostatique et les forces magnétiques mises en jeu lors d'un contact  
5 ont une différence relative d'au moins 10 %.

Les forces de rappel mécanique sont quant à elles de préférence inférieures ou très inférieures à la force électrostatique et aux forces magnétiques mises en jeu lors d'un contact, par exemple au moins 10  
10 fois inférieures.

#### BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

- les figures 1A à 2B représentent des variantes d'un premier mode de réalisation de l'invention,
- 15 - la figure 3 représente un autre mode de réalisation de l'invention, avec une membrane reliée aux contacteurs,
- les figures 4 A - 4B représentent deux autres modes de réalisation de l'invention, les extrémités de l'électrode mobile étant encastrées, ou  
20 étant maintenues par des moyens magnétiques,
- la figure 5 représente un mode de réalisation en plan ou en surface d'un substrat,
- les figures 6 et 7 représentent deux  
25 autres modes de réalisation de l'invention, avec actionneur formant un coude ou une croix,
- les figures 8A - 8E représentent des variantes d'un actionneur avec trois parties mobiles,

- les figures 9A - 11C sont des exemples d'actionneurs avec contact électrique et/ou moyens magnétiques,

- les figures 12A - 12B sont des étapes de réalisation d'un dispositif selon l'invention.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un exemple d'un dispositif selon l'invention est représenté sur la figure 1A.

Une électrode fixe 12, 14 est située en face de chaque extrémité d'une structure ou électrode 10 mobile ou souple, ou une membrane mobile ou souple, dont un point repose sur une butée ou un plot ou un pivot 18, positionné en décalage latéral (c'est-à-dire suivant la direction XX') par rapport à l'emplacement 16 d'une charge, par exemple une charge mécanique ou un contact mécanique ou électrique ou un composant électrique ou optique.

Cet ensemble est aussi appelé actionneur.

La structure mobile 10 est isolée des électrodes fixes 12, 14 par une, ou des, couches isolantes 20. Ces couches sont situées sur la structure fixe, comme illustré sur la figure 1A, mais elles peuvent aussi être sur la structure mobile, celle-ci comportant par exemple une bicouche comportant une couche isolante et une couche d'électrode. L'ensemble constitué par les électrodes fixes et, éventuellement, la ou les couches isolantes, repose sur un substrat 22.

Le pivot 18 permet de maintenir un point de l'électrode mobile à une hauteur minimale, éventuellement à une hauteur fixe, par rapport au

substrat 22. Cette hauteur est mesurée suivant l'axe ZZ', perpendiculaire au plan de la couche isolante 20. Selon un exemple le pivot a une hauteur par exemple comprise entre quelques dizaines de nanomètres, par exemple 50 nm, et 10  $\mu\text{m}$  ou 20  $\mu\text{m}$ . Il peut avoir une hauteur de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$ .

La membrane 10 a, quant à elle, une longueur L qui peut être de l'ordre de quelques centaines de  $\mu\text{m}$  ou encore comprise entre, par exemple, 50  $\mu\text{m}$  et 1 mm. Sa largeur, mesurée selon une direction perpendiculaire au plan de la figure 1A ou 1B, est de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$  ou de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$ , par exemple comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 50  $\mu\text{m}$ . L'épaisseur e de la membrane peut être comprise entre 500 nm et 5  $\mu\text{m}$ , par exemple égale à environ 1  $\mu\text{m}$ . Toutes ces valeurs sont données à titre indicatif et des dispositifs selon l'invention peuvent être réalisés avec des valeurs numériques en dehors des plages indiquées ci-dessus.

Une différence de potentiel est appliquée entre l'électrode mobile 10 et chaque électrode fixe 12, 14. Cette différence de potentiel génère une force électrostatique en attraction, ou en répulsion, entre les deux électrodes de chaque couple d'électrodes (électrode mobile, électrode fixe). Cette force est facilement contrôlable avec la différence de potentiel. Des moyens de contrôle de cette différence de potentiel sont prévus mais non représentés sur la figure. La membrane et le plot peuvent être en matériau conducteur ou semi-conducteur, ou comporter des éléments en de tels matériaux, ce qui permet d'appliquer une tension à la membrane via le plot 18.

Si on diminue la différence de potentiel (ddp) entre l'électrode fixe 12 et l'électrode mobile 10, et si on augmente la ddp entre l'électrode fixe 14 et l'électrode mobile 10, la structure mobile bascule progressivement du côté de l'électrode fixe 14, et la charge 16 monte suivant l'axe ZZ' (figure 1A).

Si on augmente la ddp entre l'électrode fixe 12 et l'électrode mobile 10, et si on diminue la ddp entre l'électrode fixe 14 et l'électrode mobile 10, la structure mobile bascule progressivement du côté de l'électrode fixe 12, et la charge 16 descend le long de l'axe ZZ' (figure 1B).

Le pivot constitue ainsi un point d'appui pour la structure mobile, lorsque celle-ci est attirée par l'une ou l'autre des électrodes fixes 12, 14 : en fait la partie centrale, ou mobile, de la membrane monte et descend sous l'effet conjugué de forces électrostatiques et de forces mécaniques, donc de natures différentes. L'amplitude du mouvement de cette partie est supérieure à la hauteur du pivot 18.

Dans la description ci-dessus, le pivot est un plot. Cependant d'autres moyens peuvent être mis en œuvre pour réaliser le pivot : par exemple des bras mécaniques de part et d'autre du point où est placée la charge, ce qui a pour avantage de limiter le mouvement latéral (perpendiculaire au plan des figures 1A et 1B) de ce point. Une réalisation avec un seul bras latéral est possible, mais moins stable que la précédente. Là encore, le choix des matériaux constitutifs du ou des bras permet d'appliquer une tension à la membrane via le ou les bras.



Le pivot 18 peut être construit dans la partie mobile, ou dans les parties fixes. Il peut être placé en dessous, ou dans le plan de la partie mobile 10.

5 Le fluide entre électrode mobile et électrodes fixes peut être de l'air ou un autre fluide, plus ou moins visqueux. Sa perméabilité est de préférence la plus haute possible, avec une bonne tenue au champ électrique, et au vieillissement.

10 Les figures 2A et 2B représentent, respectivement en vue de dessus et de côté, un mode de réalisation où le pivot comporte des bras 28 s'étendant de part et d'autre de la membrane mobile 10, sensiblement dans un plan défini par cette partie  
15 mobile, par exemple lorsque celle-ci est au repos.

Dans l'exemple des figures 2A et 2B, les extrémités 27, 29 de ces bras sont maintenues fixes par rapport au substrat, à l'aide de moyens non représentés sur ces figures, par exemple par encastrement dans ce  
20 plan.

En variante, les bras peuvent s'étendre de part et d'autre de la membrane mobile, mais au-dessous de celle - ci, formant une butée en dessous de laquelle un point de la membrane ne peut jamais descendre en  
25 direction du substrat.

Selon encore une autre variante, il n'y a qu'un seul bras, sur un côté. La solution avec deux bras présente l'avantage de la symétrie, notamment du point de vue mécanique, du système.

30 Ce mode de réalisation, avec un ou des bras, permet d'avoir des forces importantes, et de

limiter les effets de striction ou de collage sur les parties mécaniques proches de la structure mobile : en effet, dans le mode de réalisation des figures 1A et 1B, la structure mobile peut s'altérer par friction sur le plot 18.

Selon un mode de réalisation particulier, illustré en figure 3, un ou plusieurs actionneur(s) 33, 35, 37 peut/peuvent être suspendu(s) ou reliés à une membrane 30, chacun par un plot 32, 34, 36 qui permet de maintenir une distance constante entre l'actionneur et cette membrane. Par ailleurs un pivot 41, 43, 45 assure le maintien d'au moins un point de chaque actionneur à une distance minimale du substrat, comme expliqué ci-dessus.

La membrane 30 peut être plus ou moins souple ou rigide, par exemple semi-rigide. Elle peut supporter des composants optiques, ce qui est un exemple d'application au domaine de l'optique adaptative.

Dans les exemple ci-dessus, les extrémités des membranes mobiles 10, 33, 35, 37 peuvent être plus ou moins libres par rapport au substrat 22 ou à la couche isolante 20 qui le recouvre : ces extrémités latérales ne sont pas nécessairement encastrées dans, ou sur, cette couche ou ce substrat. Ainsi, dans l'exemple de la figure 3, les extrémités de chaque actionneur, qui est lié à la membrane 30 par un plot 32, 34, 36 peuvent très bien être libres.

Il est également possible de maintenir les extrémités de l'électrode mobile plaquées contre le

substrat par le simple effet de faibles tensions entre électrode mobile et l'électrode fixe correspondante.

Dans le mode de réalisation illustré en figure 4A les extrémités 11, 13 de l'élément mobile 10 de l'actionneur sont intégrées dans, ou sur, la couche isolante 20 ou le substrat 22. Ces extrémités sont par exemple fixées en surface de la couche isolante. Selon une variante, une seule des deux extrémités est ainsi encastrée.

Selon un autre mode de réalisation (figure 4B), les extrémités de l'élément mobile 10 de l'actionneur comporte des moyens magnétiques ou des zones magnétiques 21, 23. La partie mobile peut elle-même être partiellement en un matériau magnétique ; par exemple elle comporte une couche isolante (par exemple en nitrure), une première couche de matériau magnétique (par exemple en FeNi), une deuxième couche de matériau isolant (par exemple en nitrure). Des aimants 19, 25, fixes par rapport au substrat 22, permettent alors de maintenir les extrémités magnétiques ou magnétisées de l'élément mobile fixes par rapport au substrat 22.

La figure 5 est un exemple d'intégration d'un actionneur dans un plan, en l'occurrence le plan supérieur d'un substrat 23 ou d'une couche isolante déposée dessus.

L'ensemble des éléments : électrodes 52, 54, poutre 60, pivot 68 sont formés dans cette couche ou ce plan, par gravure. En particulier, une cavité est gravée sous la poutre 60, qui est ainsi libérée du substrat et peut se mouvoir, ainsi que la charge 66,

selon la flèche indiquée sur la figure, selon une direction sensiblement perpendiculaire aux électrodes.

Une couche sacrificielle utilisée lors de la gravure peut être en oxyde ou en matériau polymère, selon la sélectivité de gravure par rapport à la structure.

Ce mode de réalisation permet d'obtenir une grande compacité.

Selon une variante, des aimants 53, 55 sont intégrés dans les électrodes 52, 54, les parties latérales de la poutre 60 incorporant des éléments magnétiques 61 63, par exemple des noyaux en un matériau magnétique tel que du FeNi. Les aimants et le matériau magnétique peuvent être déposés sur la structure mobile et sur la structure fixe, et protégés par une couche qui résiste à la gravure de la couche sacrificielle sous la poutre 60.

Des formes plus complexes peuvent être réalisées.

Par exemple, il est possible de faire varier l'épaisseur et la forme de la partie mobile 60. Celle - ci peut présenter une épaisseur plus faible à ses extrémités (comme d'ailleurs illustré sur la figure 5) pour limiter la tension qui s'y applique et pour laquelle l'électrode mobile vient se plaquer sur l'électrode fixe.

Selon une autre variante, la partie mobile 60 peut être libre à ses extrémités et rattachée au plot 68.

Dans les modes de réalisation présentés, l'isolant 20 peut être par exemple du nitrure, ou de

l'oxyde. Dans le cas de la figure 5, un isolant, là encore par exemple du nitrure ou de l'oxyde, peut être formé sur les électrodes 52, 54, et/ou sur l'électrode mobile 60.

5                    Dans les divers modes de réalisation présentés, les différents éléments de la structure (membrane, électrodes, partie mobile, plot) peuvent être en silicium, en nitrure si elles sont recouvertes au moins en partie par un métal, ou encore en  
10 aluminium. D'autres matériaux sont encore possibles.

Les actionneurs peuvent être réalisés avec une configuration permettant plus de débattement. Dans la configuration illustrée sur la figure 5, la poutre exerce une résistance mécanique naturelle à  
15 l'allongement, ce qui limite son débattement.

La configuration de la figure 6 est une vue de dessus d'un ensemble substrat 23 - pivot 78 - poutre 70 électrodes fixes 62, 64. Ces dernières sont en fait sous une couche isolante qui recouvre le substrat 22.  
20 La poutre a une forme qui fait un angle ou un coude 77, ce qui assure un meilleur débattement de la charge 76. Sur la figure 6, cet angle est un angle droit, mais ce pourrait aussi être un angle inférieur à  $90^\circ$  ou supérieur à  $90^\circ$ .

25                    Par contre, cette configuration peut produire une rotation du point où est fixée la charge.

La configuration de la figure 7 pallie ce défaut avec quatre bras et quatre électrodes fixes 82, 84, 92, 94. Les électrodes opposées 92, 94 peuvent être  
30 connectées ensemble, ainsi que les électrodes 82, 84. Les références 79, 80 désignent deux pivots. La

référence 86 désigne la charge qui, dans ce mode de réalisation, ne subit pas de rotation.

Pour ces modes de réalisation des fig. 6 et 7, les extrémités ne doivent pas nécessairement être encastrées. On peut les maintenir plaquées contre le substrat par le jeu de tensions, comme déjà indiqué ci-dessus dans le cadre d'un autre mode de réalisation.

Là encore, le plot 78 peut être remplacé par des bras non représentés sur la figure 6, mais similaires à ceux de la figure 2A, et disposés de part et d'autre de la membrane. Comme déjà expliqué ci-dessus, un seul bras est également possible.

Lors de la réalisation, les extrémités de la membrane seront tenues par le plot 78, ou par les bras latéraux.

Quel que soit le mode de réalisation, les deux paramètres pour le réglage de la force sont les tensions entre électrodes.

Le choix de l'épaisseur de la membrane mobile va permettre de régler facilement la raideur de l'actionneur pour la résistance aux chocs, aux vibrations, les temps de réponse, etc. Plus la partie mobile est épaisse, plus l'actionneur est rigide. La tension à appliquer pour le même déplacement est alors plus importante.

Quelle que soit la configuration retenue, les débattements peuvent aussi être augmentés linéairement avec la longueur des parties mobiles qui forment des bras de levier.

La configuration des figures 8A - 8C est plus symétrique et favorise également les très grands débattements.

Dans un substrat 123 sont réalisés une  
5 trois électrodes fixes, une électrode centrale 132 et deux électrodes latérales 134, 136.

La partie ou la membrane ou l'électrode mobile comporte trois zones ou bandes parallèles 135, 137, 139, dont les extrémité libres sont reliées par  
10 une partie commune 140 qui supporte une charge 146 et qui leur est sensiblement perpendiculaire. L'autre extrémité de chacune de ces bandes est maintenue fixe par rapport au substrat 123, soit par tension électrostatique, soit par fixation ou encastrement,  
15 soit par moyens magnétiques, ces différentes variantes ayant déjà été décrites ci-dessus, notamment en liaison avec les figures 4A et 4B.

Pour plus d'efficacité, les électrodes latérales 134, 136 sont décalées, par rapport à  
20 l'électrode centrale 132, vers l'extrémité mobile 140 de l'actionneur. Il serait également possible, mais moins efficace, de réaliser 3 électrodes sans aucun décalage entre elles.

La partie centrale 137 peut reposer sur un  
25 pivot 98. Selon une variante, un pivot est prévu sous chaque partie latérale, mais il n'y a pas de pivot sous la partie centrale.

En faisant varier les tensions entre les électrodes fixes 132, 134, 136 et l'électrode mobile il  
30 est possible d'actionner la charge en position basse

(figure 8B) et en position haute (figure 8C) par rapport au substrat 123.

Les bras 135, 139 peuvent être écartés de la partie centrale 137, latéralement ou angulairement, pour favoriser la stabilité du côté de l'encastrement. De manière schématique, les figures 8D et 8<sup>E</sup> représentent respectivement le cas de bras écartés latéralement et de bras écartés angulairement.

Les bras 135, 137, 139 sont dessinés rectilignes sur les figures 8A - 8<sup>E</sup>, mais ils peuvent avoir n'importe quelle forme.

Selon une variante, un dispositif selon l'invention peut aussi ne comporter que deux bras, par exemple les bras 135 et 137, et par exemple un pivot sous l'un des deux bras. Le dispositif est alors moins stable.

L'invention peut servir également à la réalisation de micro-commutateurs électriques ou optiques, ou de capacités variables.

Les figures 9A - 9C représentent une réalisation d'un commutateur électrique, en vue de dessus (fig 9A) et de côté (9B et 9C), respectivement en position haute et basse d'un contact 196.

Sur ces figures, l'actionneur est similaire à celui de la figure 1A, la charge étant un contact électrique 196.

Sur la figure 9A, les références 200 et 201 désignent respectivement une piste électrique d'entrée et une piste de sortie, la référence 202 une bande de masse.



Comme on le voit sur les figures 9B et 9C le système permet de commander la fermeture et l'ouverture d'un commutateur 196. En position basse celui-ci ferme le circuit entre les pistes 200 et 201 par exemple. Il peut aussi venir en contact avec une piste d'un circuit réalisé dans la couche 224, ce circuit n'étant pas représenté sur les figures.

Les figures 10A - 10C représentent une réalisation d'un commutateur bistable, en vue de dessus (fig 10A) et de côté (10B et 10C, respectivement en position haute et basse).

Des références identiques à celles des figures 9 A - C y désignent des éléments similaires ou correspondants.

En outre des moyens magnétiques sont prévus : d'une part, des moyens fixes 242, 244 sur le substrat ou par rapport au substrat ; d'autre part la membrane mobile 210 est elle-même munie de moyens magnétiques : elle peut être au moins en partie magnétique, ou comporter des portions 232, 234 en matériau magnétique.

De préférence les moyens magnétiques 244 sont éloignés du contact 196 pour limiter les perturbations.

Dans les deux positions des figures 10B et 10C le système ne consomme pas d'énergie électrique, à la différence du système des figures 9B et 9C : ce sont en effet les moyens magnétiques qui assurent le maintien du système en positions haute et basse.

Un autre mode de réalisation va être décrit en liaison avec les figures 11A-11C.

En fait, ce mode réalisation correspond sensiblement à celui des figures 8A-8C, auquel sont rajoutés des moyens magnétiques, à la fois sur la partie fixe et sur, ou dans, la partie mobile 310. Par exemple des plots magnétiques ou des aimants 342, 344 sont disposés sur la couche 320 qui repose elle-même sur un substrat 322, la poutre ou l'électrode mobile 310 comportant elle-même des moyens magnétiques. Par exemple elle contient une matière magnétique, par exemple du nitrure de fer (FeNi), localement ou sur toute sa longueur.

De préférence les moyens magnétiques ou le matériau magnétique incorporé dans l'électrode mobile 302 est encapsulé, afin de le protéger en cours d'utilisation.

Selon un exemple, l'électrode mobile est composée de trois couches superposées :

- une première couche en  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,
- une deuxième couche en FeNi,
- une troisième couche en  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

Le dépôt d'une couche magnétique, de même que le dépôt des aimants 342, 344, peut se faire par exemple par électrodéposition ou par dépôt par pulvérisation cathodique.

La couche d'isolation (ex. : nitrure) peut aussi être discontinue pour diminuer les effets de charges.

Comme on le voit sur les figures 11B et 11C (respectivement vues en coupe le long des axes AA' et BB' de la figure 11A) le dispositif comporte en outre deux parties 350, 352 d'un contact électrique, qui est

fermé lorsque l'extrémité de l'électrode mobile qui porte la charge 316 est en position basse.

La figure 11A est une vue de dessus de l'ensemble du dispositif. Par rapport à la figure 8A  
5 les positions relatives, d'une part de l'électrode fixe centrale 332 et d'autre part des électrodes fixes latérales 334, 336 sont inversées.

En outre, des plots ou pivots 398, 399 sont prévus sous chaque portion latérale 335, 339 de  
10 l'électrode mobile, mais pas sous sa portion centrale 337.

Sur les figures 11B et 11C, seuls deux plots magnétiques, 342, 344 sont représentés. En fait, il est possible, comme illustré sur la figure 11A, que  
15 deux ou plusieurs aimants soient disposés sur le substrat, sous la partie centrale 337 de l'électrode mobile, et que deux ou plusieurs aimants soient disposés sur le substrat, sous chacune des parties latérales 334, 336 de cette électrode.

Ainsi peuvent être définies un ensemble de  
20 positions intermédiaires, stables, entre la position plus haute de la charge (figure 11C) et la position la plus basse, c'est-à-dire celle dans laquelle le contact électrique 350-352 est fermé. Ce mode de réalisation de  
25 la figure 11B permet donc aussi de former un condensateur à capacité variable, dont les moyens 350, 352 peuvent former les armatures, mais dans des positions stables. Une telle structure offre l'avantage de ne pas être sensible aux vibrations.

30 Sans les moyens magnétiques (donc avec une structure proche de celle des figures 8A - 8C à

laquelle sont rajoutés les moyens 350, 352), on forme également une capacité variable, mais avec un fonctionnement continu : des moyens de mesure d'impédance permettent alors de mesurer la valeur de la  
5 capacité obtenue et d'ajuster, à l'aide des tensions appliquées aux électrodes, la distance relative des éléments de la capacité en fonction de cette mesure. Cependant de tels moyens de mesure induisent un bruit, qui se répercute sur le fonctionnement de la capacité.  
10 Le mode de réalisation des figures 11 A - C, avec des positions stables prédéfinies par les moyens magnétiques permet de s'affranchir de tels moyens de mesure d'impédance et donc du bruit que de tels moyens génèrent.

15 Dans un système tel que celui des figures 11A-11C ou 10A-10C, combinant des moyens électrostatiques et des moyens magnétiques, on choisira les dimensions des aimants et des électrodes de manière à obtenir une force d'attraction électrostatique, au  
20 moment de l'activation, supérieure à la force magnétique en jeu lors d'un contact entre la partie mobile et la partie fixe, elle-même supérieure à la force de rappel mécanique.

Par ailleurs, on cherchera à dimensionner  
25 les aimants et la surface d'électrodes de manière à avoir une différence suffisante entre la force électrostatique, ou de « zipping », et la force magnétique mise en œuvre lors du contact. De préférence, cette différence est d'au moins 10 %, ce  
30 qui permet de ne pas être sensible à des inhomogénéités de fabrication de l'aimant, ni à des effets de

striction (ou de collage) entre l'électrode mobile et le substrat, ni à des effets de charges dans les matériaux diélectriques.

Les forces électrostatiques, ou de « zipping », et les forces magnétiques en jeu lors du contact, sont, quant à elles, supérieures ou très supérieures, aux forces de rappel de la structure mécanique, de préférence dans un rapport au moins égal à 10.

Les mêmes considérations sont valables pour le mode de réalisation de la figure 5, lorsqu'il comporte des moyens magnétiques.

Diverses variantes peuvent être envisagées. En particulier, la partie mobile peut être enroulée ou tournée de façon à minimiser l'encombrement. Par ailleurs, cette partie mobile peut avoir un nombre de bras différents suivant l'application.

D'une manière générale, un procédé de réalisation d'un dispositif selon l'invention met en œuvre les techniques de gravure de substrat et/ou de couches, et de dépôt de couches, techniques qui sont connues en microélectronique. De telles techniques sont décrites dans les documents 1 - 4 déjà cités.

Les figures 12A - 12B illustrent des étapes de formation d'un dispositif selon l'invention, tel que celui de la figure 4B.

Sur un substrat 500 (figure 12A) est formée une couche isolante 520 et des électrodes 501, 503, ainsi que, éventuellement, des aimants 520, 521 par électrodéposition (par exemple de CO et Pt).

Un plot 518 peut être formé par dépôt d'une couche et gravure. Comme indiqué sur les figures 12A et 12B il peut être disposé de manière dissymétrique par rapport aux électrodes fixes 501, 503, permettant à un point de la partie centrale de la membrane, éventuellement à une charge disposée en ce point, d'avoir une amplitude supérieure à la hauteur du plot.

Une première couche sacrificielle très fine 530 (par exemple en polymère d'épaisseur 1,1  $\mu\text{m}$ ) est déposée, puis une seconde couche sacrificielle 532. On procède ensuite à la gravure, l'insolation, au développement de cette couche, et enfin à son fluage.

Il y a ensuite formation d'une couche mécanique 540 (par exemple en nitrure) et éventuellement d'une couche magnétique 542 (par exemple FeNi). La partie ou l'électrode mobile de l'actionneur peut être gravée dans cette couche mécanique 540. La couche sacrificielle est ensuite gravée, libérant ainsi la couche mécanique (figure 12B).

Des variantes de ce procédé permettront d'adapter les formes de membrane et les dispositions des électrodes et des moyens magnétiques, par exemple pour réaliser des dispositifs tels que ceux des figures 6, 7, 8A - 8 E, 9A - 11C.

## Références bibliographiques

- [1] : "A Novel Electrostatic Actuator for  
Micro Deformable Mirrors : Fabrication and Test", C.  
5 Divoux, J. Charton, W. Schwartz, E. Stadler, J.  
Margail, L. Jocou, T. Enot, J.C. Barbe, J. Chiaroni and  
P. Berruyer, Transducers'03, IEEE, 12th International  
Conference on Solide-State Sensors, Actuators and  
Microsystems, Boston, Massachussetts, USA, June 8-12,  
10 2003.
- [2] : "Electrostatically Excited Diaphragm driven  
as a Loudspeaker", P. Rangsten, L. Smith, L. Rosengren,  
B. Hök, Transducers 95, the 8th International  
15 Conference on Solid State Sensors and Actuators, and  
Eurosensors IX, Stockholm, Sweden, June 25-29, 1995.
- [3] : "Electrostatic Curved Electrode", Rob  
Legtenberg, John Gilbert, Stephen D. Senturia, Miko  
20 Elwenspoeck, Journal of Microelectromechanical System,  
vol. 6, n°3, September 1997.
- [4] : "A new Electrostatic Actuator  
providing improved Stroke Length and Force", Jeans  
25 Branebjerg, Perter Gravesen, Micro Electro Mechanical  
Systems'92, Travemünde (Germany), February 4-7, 1992.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif d'actionnement électrostatique, comportant :

- 5                   - une électrode (10, 33, 35, 37, 135, 137, 139, 210, 335, 337, 339) dite électrode mobile, comportant au moins une partie mobile par rapport à un substrat (22, 123, 222, 322),
- 10                  - au moins deux électrodes (12, 14, 62, 64, 82, 84, 92, 94, 132, 134, 136), fixes par rapport au substrat, situées d'un même côté par rapport à l'électrode mobile et chacune en face d'une partie de l'électrode mobile,
- 15                  - des moyens (18, 28, 98, 158, 198, 398, 399), formant au moins un pivot d'au moins une portion de l'électrode mobile.

2. Dispositif selon la revendication 1, l'électrode mobile comportant au moins une partie mobile suivant au moins une direction perpendiculaire à ce substrat.

20

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, les deux électrodes fixes étant séparées de l'électrode mobile par une couche isolante (20, 120, 220, 224, 320) formée sur le substrat et/ou l'électrode mobile.

25

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, la partie mobile de l'électrode

30



mobile étant reliée par un plot (33, 34, 36) à une membrane (30).

5. Dispositif selon l'une des  
5 revendications 1 à 4, les moyens formant pivot comportant au moins un plot (18, 98, 158, 198, 398, 399),) fixe par rapport au substrat.

6. Dispositif selon l'une des  
10 revendications 1 à 4, les moyens formant pivot comportant au moins un bras (28) disposé latéralement par rapport à la partie mobile, ou deux bras disposés de part et d'autre de la partie mobile.

7. Dispositif selon l'une des  
15 revendications 1 à 6, la partie mobile de l'électrode mobile formant un coude (77).

8. Dispositif selon l'une des  
20 revendications 1 à 6, comportant quatre électrodes (82, 84, 92, 94) fixes, disposées deux à deux l'une en face de l'autre, l'électrode mobile comportant deux parties mobiles disposées en croix.

9. Dispositif selon la revendication 8,  
25 comportant deux pivots (79, 80).

10. Dispositif selon l'une des  
30 revendications 1 à 9, l'électrode mobile comportant au moins une partie encastrée ou fixée sur, ou dans, le substrat ou la couche isolante.

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, chaque électrode fixe étant située en face d'au moins une extrémité de l'électrode mobile, sur un côté des moyens formant pivot.

12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, l'électrode mobile comportant au moins deux parties mobiles (135, 137, 139), chacune étant libre à une de ses extrémités, une électrode fixe (132, 134, 136) étant en face de chaque partie mobile (135, 137, 139).

13. Dispositif selon la revendication 12, l'électrode mobile comportant trois parties mobiles (135, 137, 139), les électrodes fixes étant au nombre de trois (132, 134, 136), chacune située en face d'une partie de l'électrode mobile.

14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13, les parties mobiles de l'électrode mobile étant de forme sensiblement allongée, et étant décalées l'une par rapport à l'autre, latéralement ou angulairement.

15. Dispositif selon l'une des revendications 1 - 6, comportant trois électrodes fixes, la partie mobile comportant trois bandes (135, 137, 139) reliées par une extrémité (140).

16. Dispositif selon l'une des revendications 1 - 15, un élément (196, 350) de contact électrique étant fixé sur la partie mobile.

5 17. Dispositif selon la revendication 1, l'électrode mobile, les électrodes fixes et le pivot étant réalisées sensiblement dans un plan en surface du substrat.

10 18. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, l'électrode mobile comportant des moyens magnétiques (232, 234) ou partiellement magnétique, le dispositif comportant en outre des moyens magnétiques fixes (242, 244, 342, 344)  
15 par rapport au substrat.

19. Dispositif selon la revendication 18, la force électrostatique et les forces magnétiques mises en jeu lors d'un contact ayant une différence  
20 relative d'au moins 10 %.

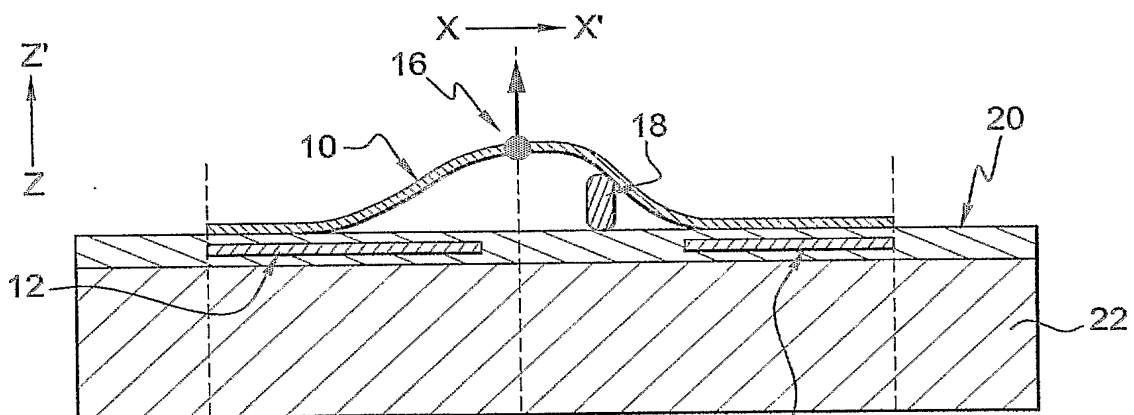
20. Dispositif selon la revendication 18 ou 19, la force électrostatique et les forces magnétiques mises en jeu lors d'un contact étant supérieures aux  
25 forces de rappel mécanique.

21. Dispositif selon la revendication 20, la force électrostatique et les forces magnétiques mises en jeu lors d'un contact étant au moins 10 fois  
30 supérieures aux forces de rappel mécanique.

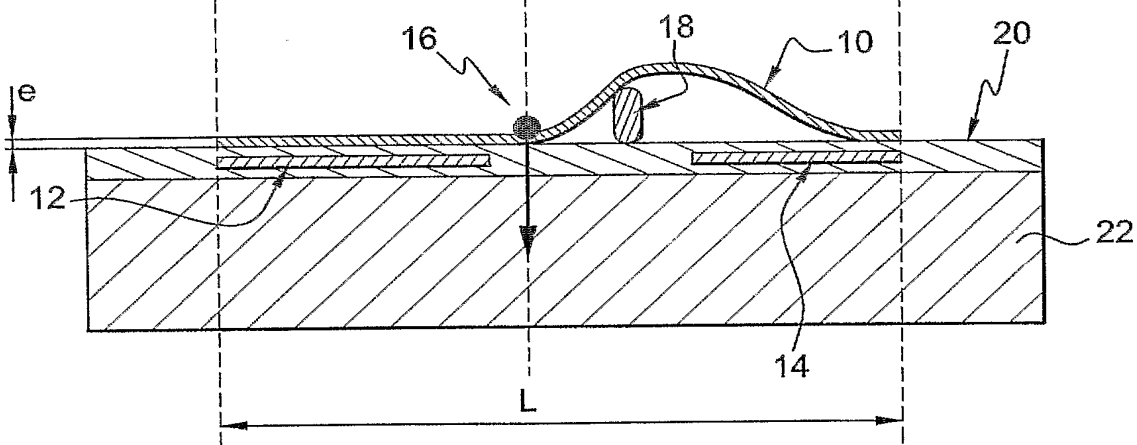
22. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 21, les moyens magnétiques de l'électrode mobile et les moyens magnétiques fixes définissant au moins deux positions stables du dispositif.

23. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 22, comportant en outre au moins une électrode fixe et une électrode mobile définissant une capacité.

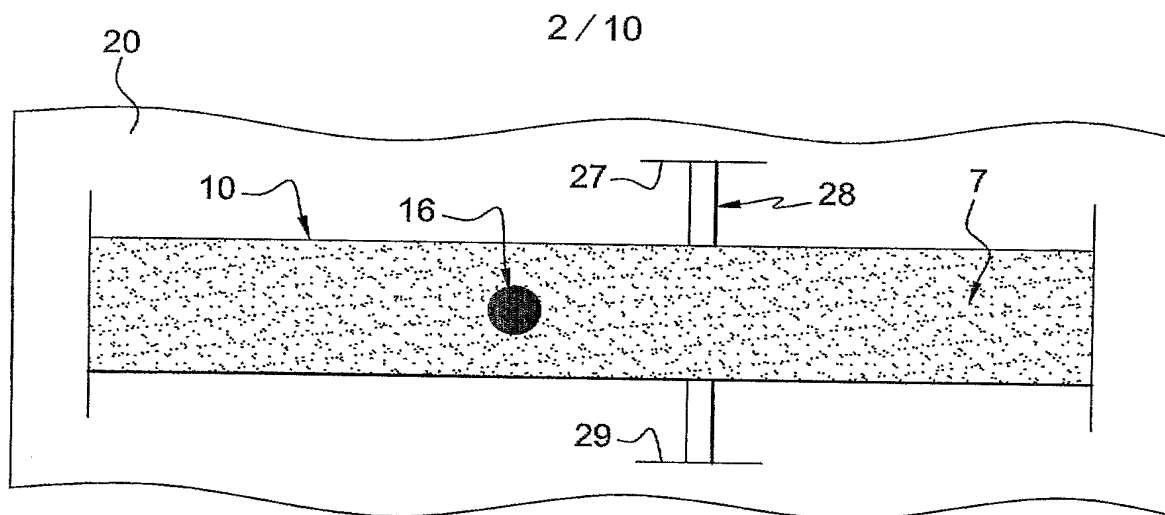
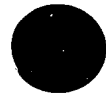
24. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 23, les moyens formant pivot permettant de maintenir, par rapport au substrat, un point de l'électrode mobile à une hauteur comprise entre 50 nm et 20µm.



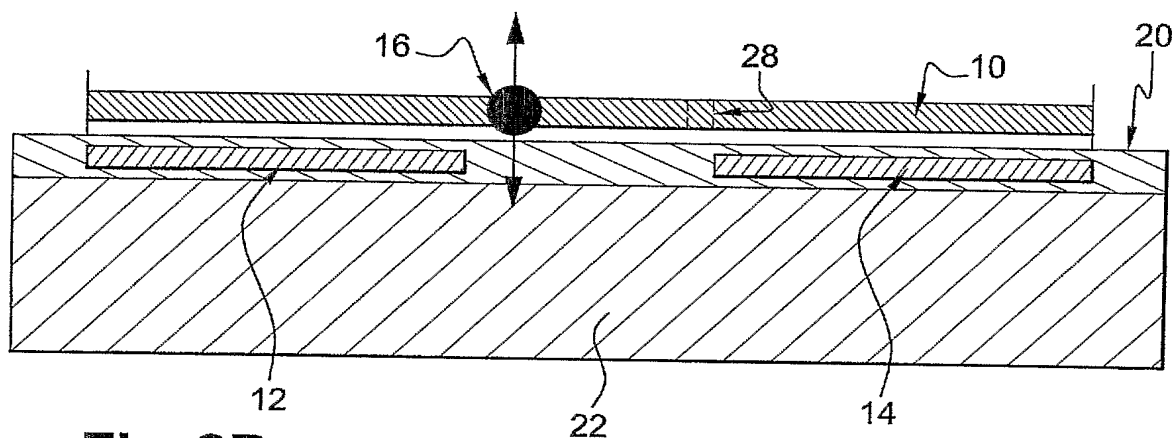
**Fig. 1A**



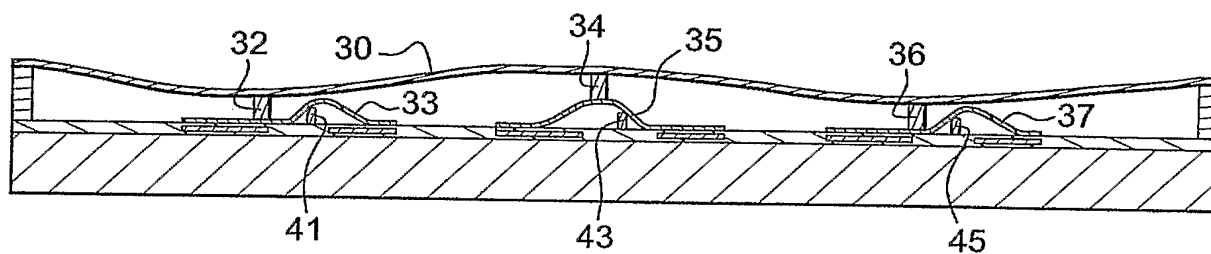
**Fig. 1B**



**Fig. 2A**

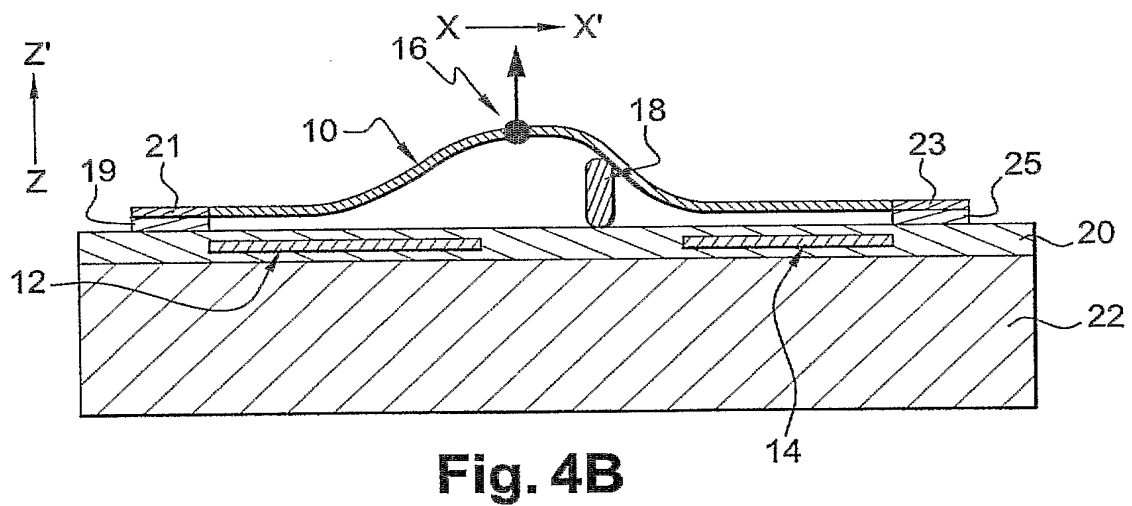
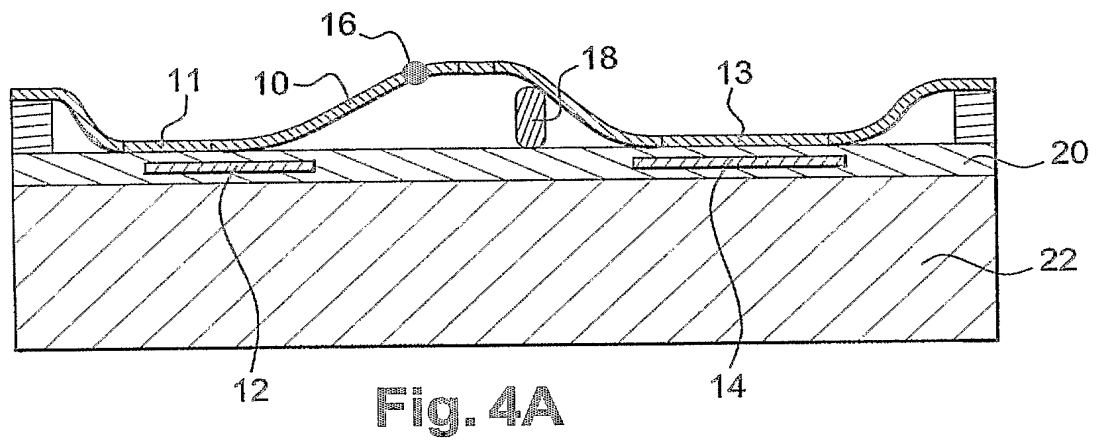


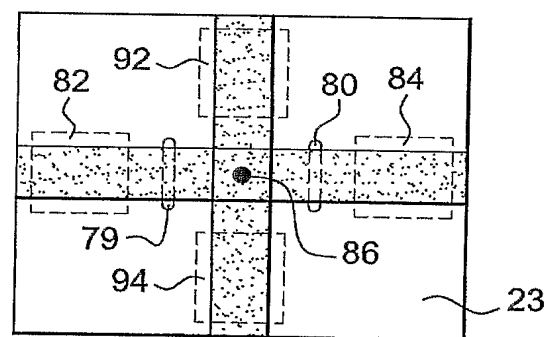
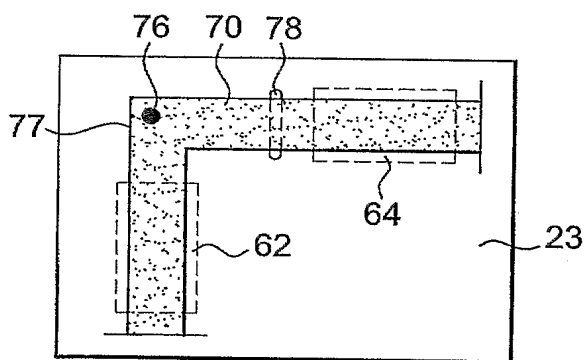
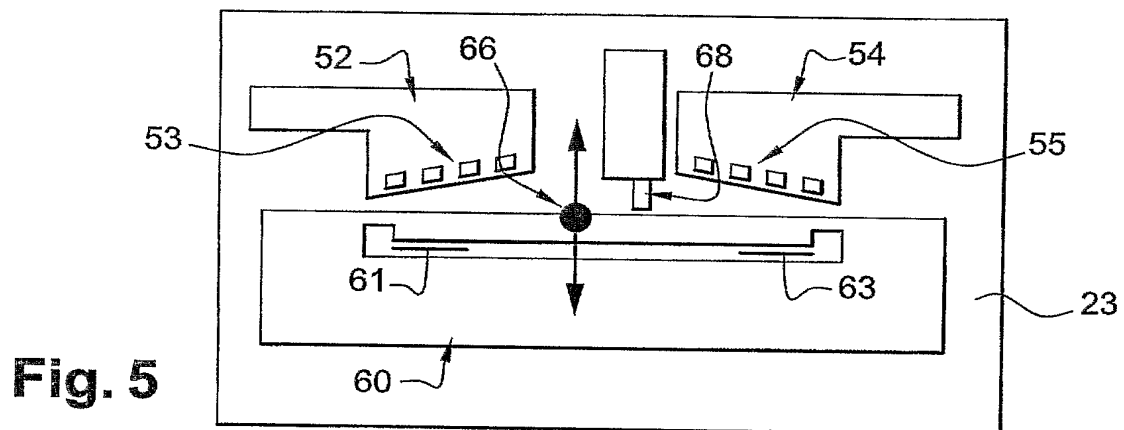
**Fig. 2B**



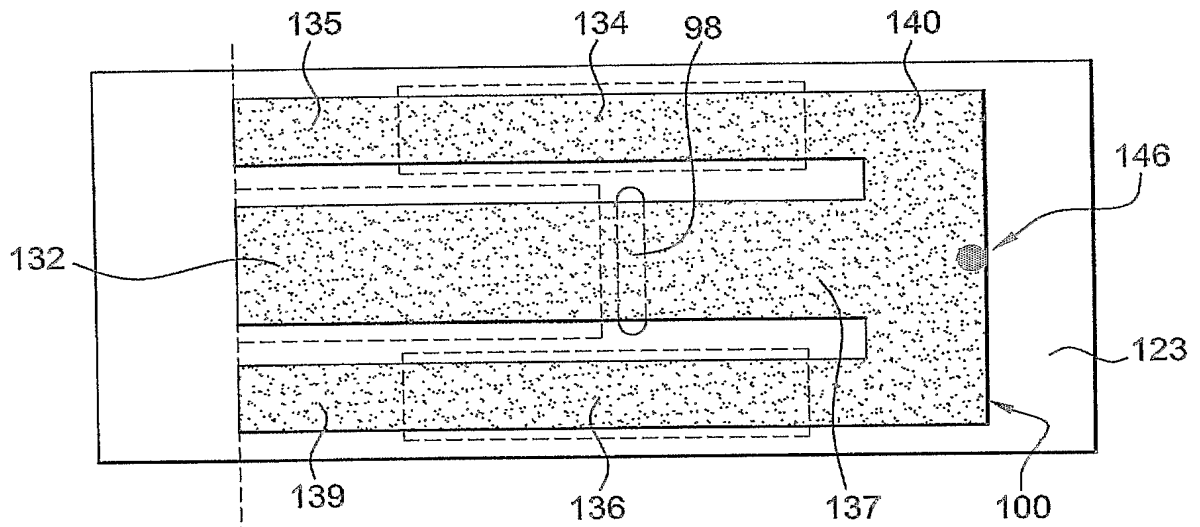
**Fig. 3**

3 / 10

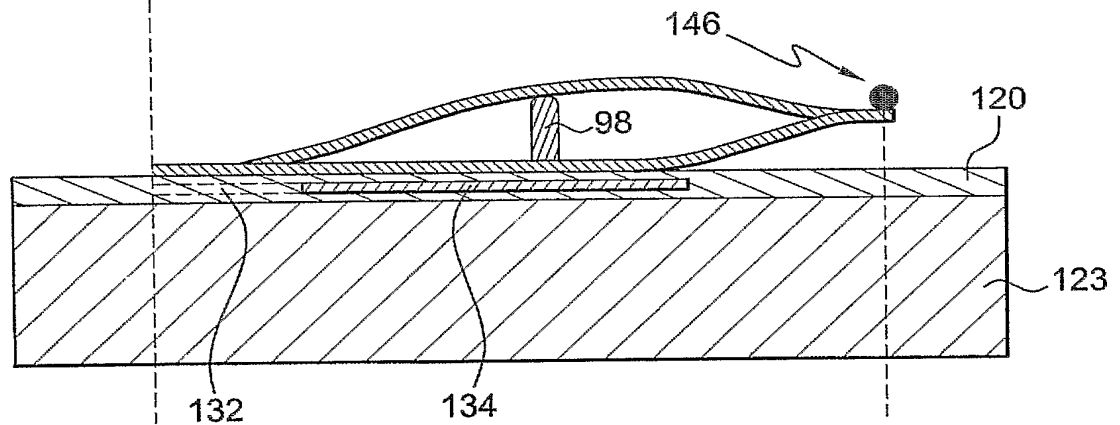




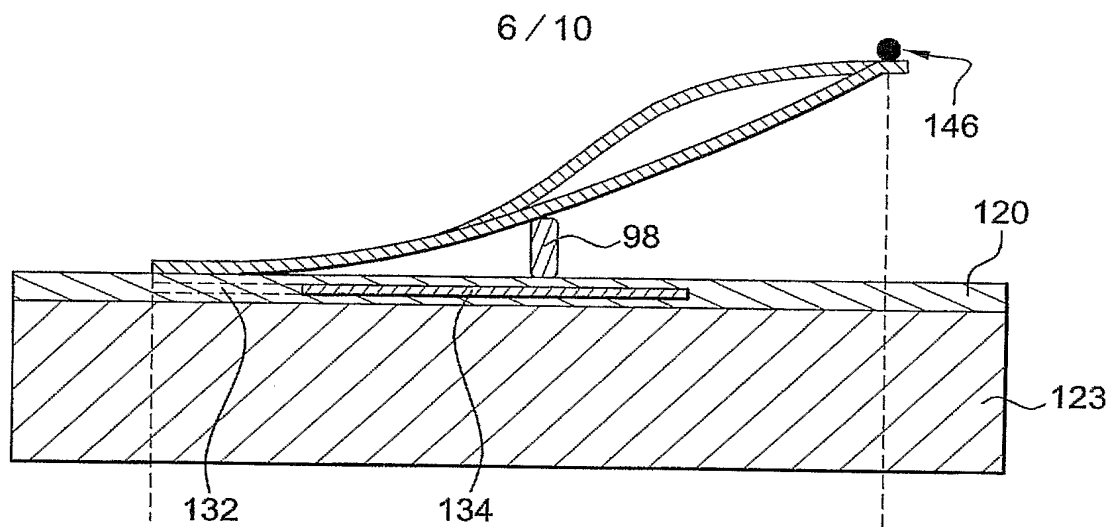




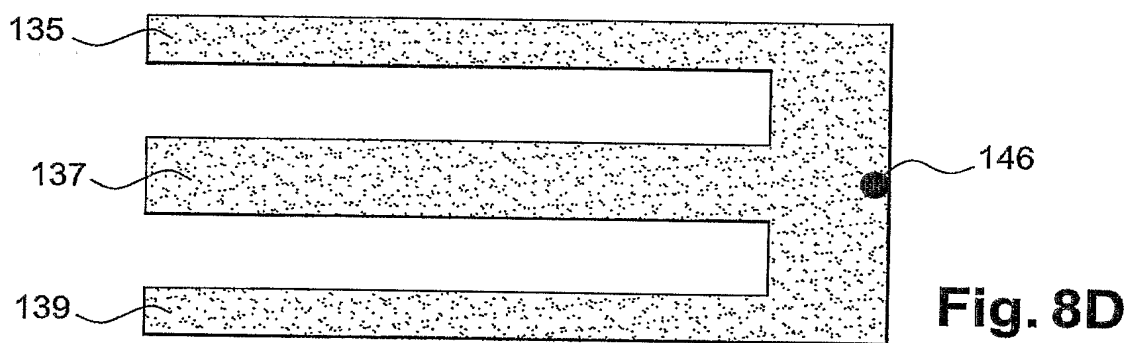
**Fig. 8A**



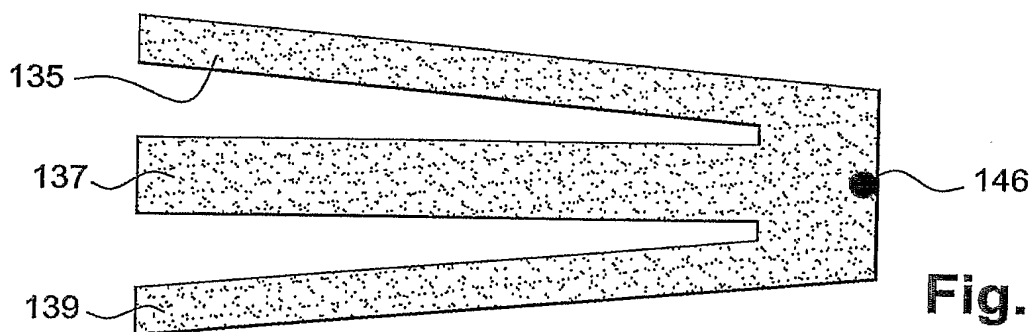
**Fig. 8B**



**Fig. 8C**

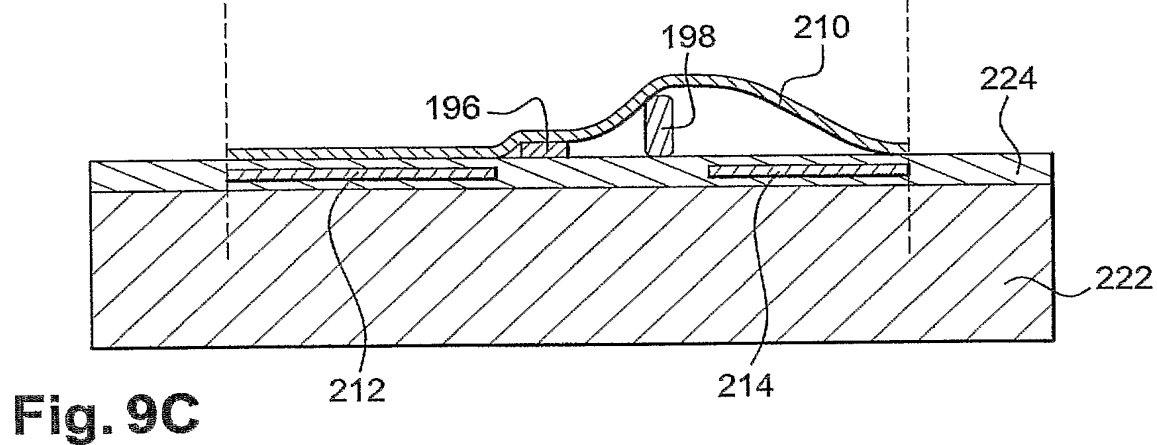
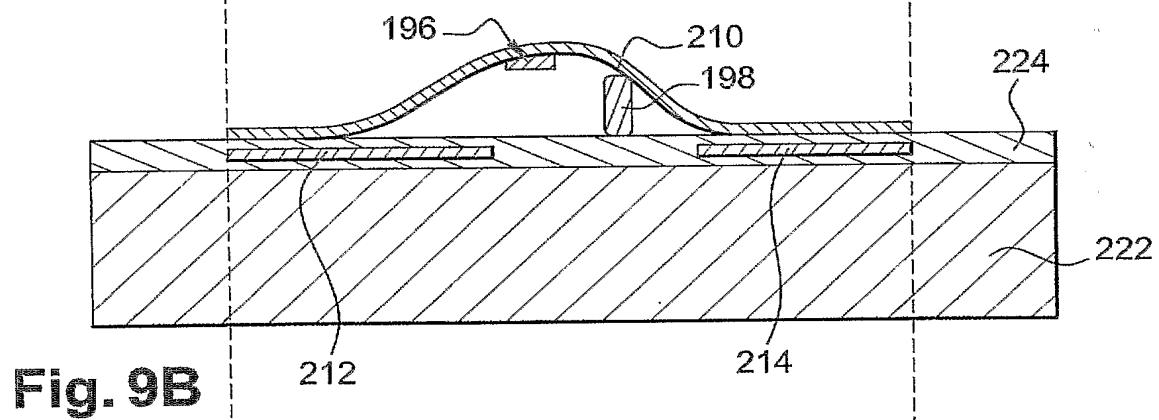
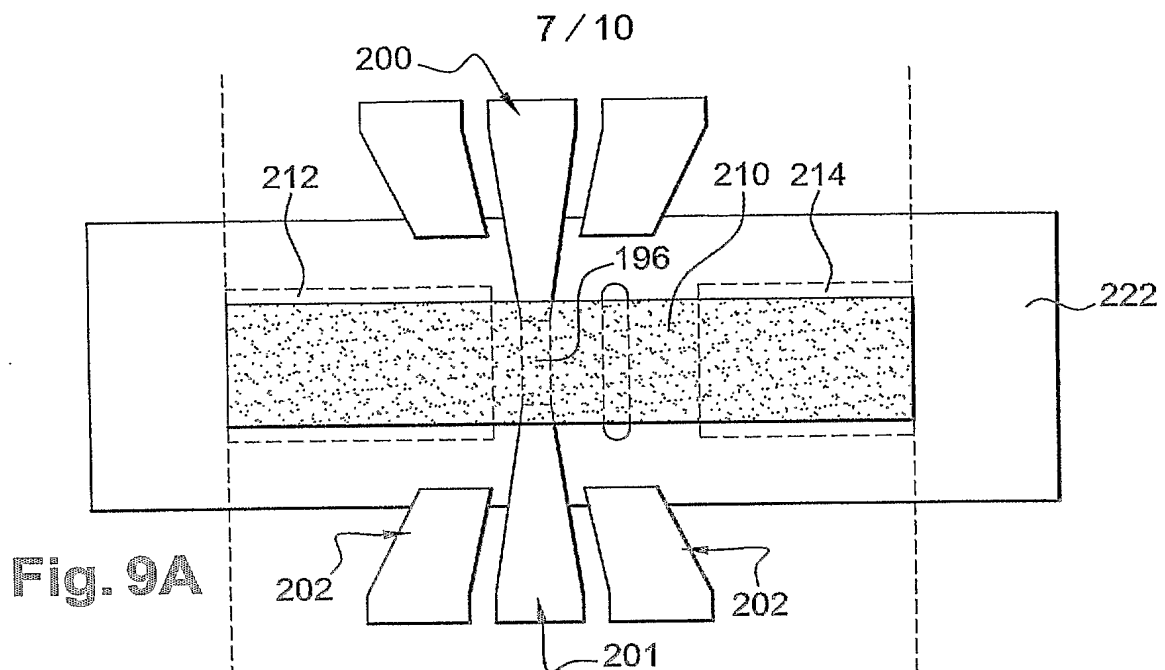


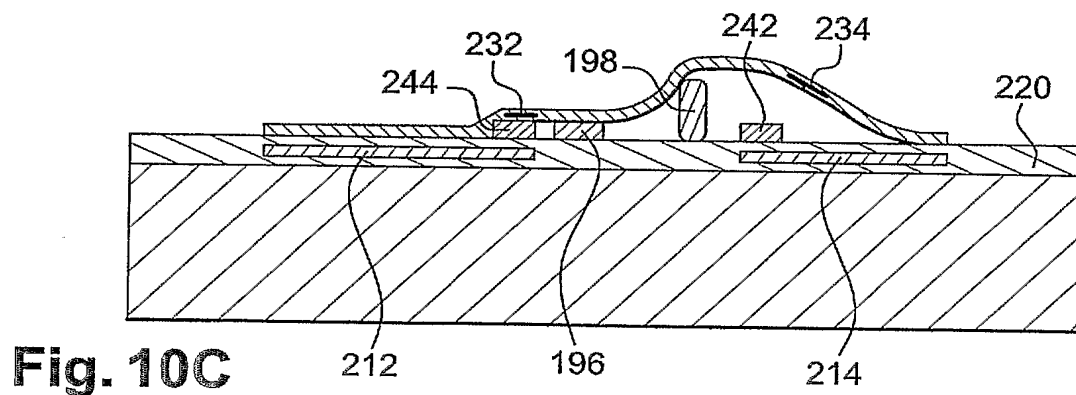
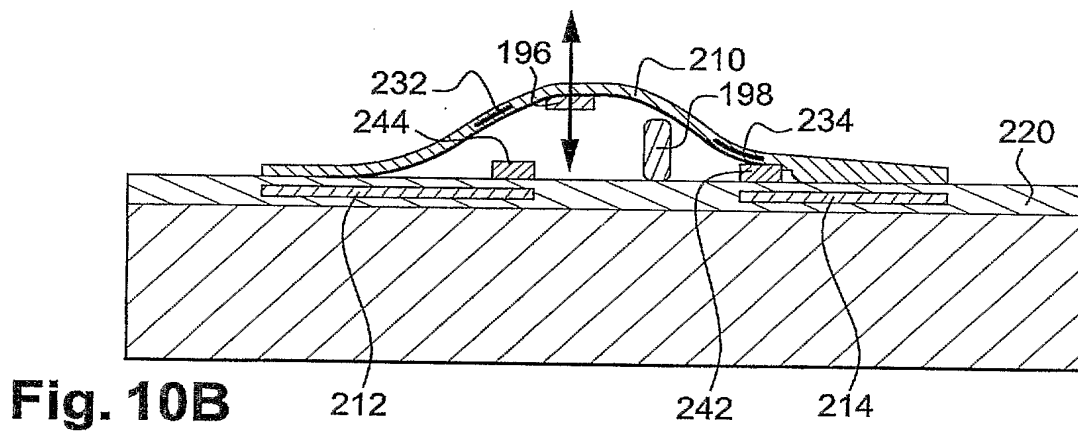
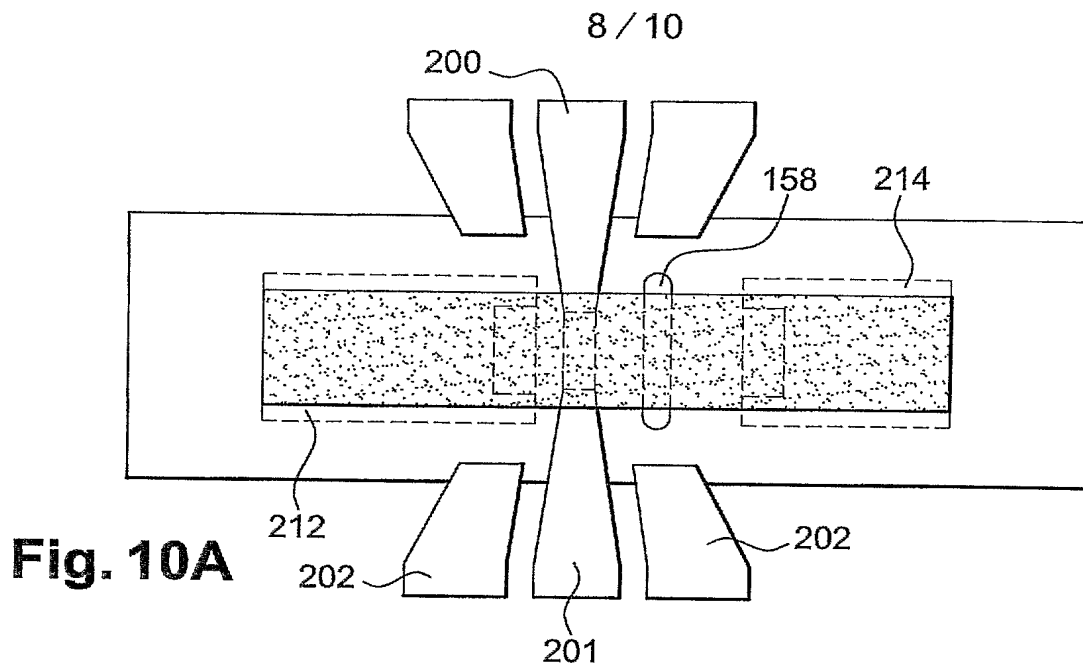
**Fig. 8D**



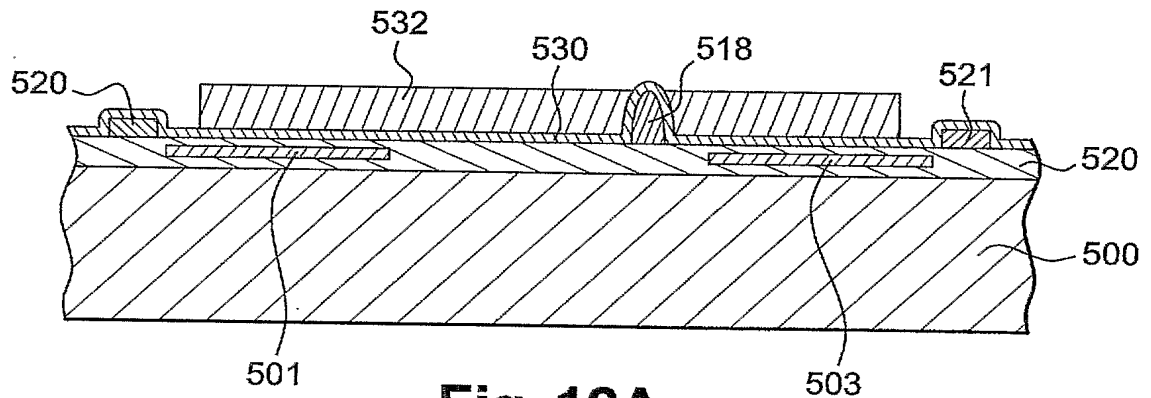
**Fig. 8E**

7 / 10

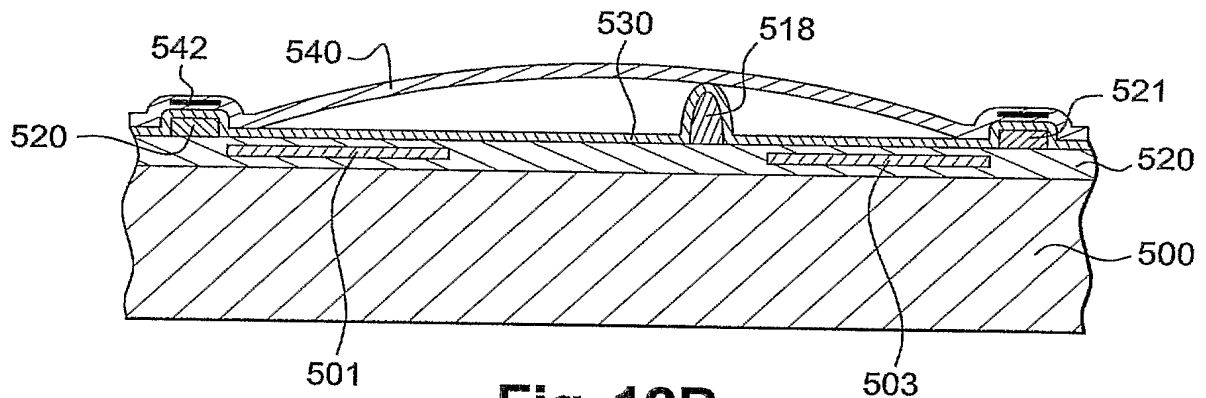








**Fig. 12A**



**Fig. 12B**



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

### Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	B 14449 PM DD 2609
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
TITRE DE L'INVENTION	
	DISPOSITIF D'ACTIONNEMENT ELECTROSTATIQUE
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	DIVOUX
Prénoms	Claire
Rue	08, rue Marceau
Code postal et ville	38000 GRENOBLE - FRANCE
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

#### Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

#### Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

FN77/FR004/050601

